

密度分析에 의한 都市人口 推計方法에 關한 研究

— 首都 서울을 事例로 —

金 仁

1. 序 言
2. 都市人口成長의 體系的 空間變化
(1) 都市內部 人口密度的 分布現象
(2) 人口密度 傾斜度的 變化
(3) 都市內部 人口密度的 Allometric 成長體系
1) 象密度的 成長率과 都心距離間의 關係
2) 密度的 成長率과 密度와의 關係
3. 密度分析에 의한 都市人口 推計方法
(1) 密度 分析에 의한 都市人口 測定 모델
(2) 密度分析에 의한 都市人口推計의 事例
1) 美國 都市의 경우 2) 首都 서울의 경우
4. 結 論

1. 序 言

都市化란 用語가 지니는 意味는 대단히 包括的 이다. 그러나 그 用語는 ‘都市人口의 成長’이란 動的인 개념을 認識하면서 사용되어진다. ‘都市人口의 成長’을 하나의 變數(variable)로 선정할 때 ‘都市化經濟(urbanization economics)’란 개념이 創出되었으며, 都市 병폐(urban pathology)의 문제는 都市의 人口增加와 關連하여 발생하는 都市社會의 ‘이슈’로 제기되기도 한다.

모름지기 人口數와 그 成長은 人間生活에 至大 한 影響을 미치는 直接·間接의 ปัจจัย 요인으로 작용하기 때문에 항상 그 變化의 추세를 정확히 파악해 둘 필요가 있는 것이다. 특히 오늘날 世界人口의 증가추세가 地表의 제한된 場所에, 즉 都市地域에 集中하는 형태로 나타나고 있어, 마치 눈사람과 같이 커지는 都市人口에 대한 신속 정확한 豫測이 要請된다.

人口에 關한 分析은 一國의 政策樹立이나, 地域의 계획 및 開發이란 觀點에서 人間生活과 연결된 제한 문제들을 푸는데 필요한 基礎資料를 提報해 주는 作業이라 할 수 있다.

어느 場所의 全體人口의 成長은 ①人口의 自然增加(natural increase or decrease), ② 人口移動(in or out migration)에 의한 사회적 증가, ③ 地域의 編入(annexation or abandment)에 수반되는 人口數를 종합적으로 고려하여 한 장소의 전체 인구수와 그 成長을 분석하게 된다. 이러한 人口成長分析의 일반 作業을 지칭하여 成長構成分析(growth composition analysis)이라 한다. 成長構成分析의 모델을 一般式으로 表記하면,¹⁾

$$P_{t+\theta} = P_t + N_\theta + M_\theta + A_\theta$$

- 여기서 $P_{t+\theta}$: 한 장소의 일정기간 동안의 전 인구
- P_t : 한 장소의 기초년도의 전체 인구
- N_θ : 일정기간 동안의 人口의 純自然增加分
- M_θ : 일정기간 동안의 人口移動에 의한

1) Isard Walter, 1960, Method of Regional Analysis: an Introduction to Regional Science, the M.I.T. Press, pp. 5~51.

純人口增加分

A₀: 일정기간 동안의 지역편입에 의한
純人口增加分

그러나 연구 대상지가 都市와 같이 開放된 공간 일 경우 人口數와 그 성장의 정도를 분석하기란 一國의 全體人口를 分析하는 작업보다 매우 어려워진다. 왜냐하면 一國은 地表上에서 하나의 폐쇄 지역으로 간주할 수 있는 領土인데 비하여 都市는 一國의 下部地域으로서 開放된 영역을 占하는 場所이므로 人口의 성장 구성 요인을 분석하는데 더 많은 자료를 기초로 하여야 하기 때문이다. 예를 들어 一國의 人口成長을 전적으로 자연증가에 의한 결과라 간주한다면(一國을 폐쇄 공간으로 간주할 경우) 領土內의 인구 이동이라든가 영토 확장에 따른 人口편입 등 多變要因을 무시하고도 人口測定이 가능해질 수 있다. 이에 반하여 개방지역으로서의 都市는 都市내의 자연증가보다는 人口移動에 의한 사회적 증가와 행정구역 변천에 따른 편입 인구 등 많은 多變要因을 내포함으로써 人口分析過程이 복잡해지는 것은 당연하다.

指摘한 바와같이 成長構成分析法은 人口分析 과정의 가장 適確한 개념적 모델(conceptual model)로서 人口分析에 유용한 틀을 제시해 준다고 할 수 있다. 그러나 도시화로 急轉하는 현금 人口成長分析法에 대처할 都市의 人口成長分析을 보다 간편하게 처리할 수 있는 代案의 인구분석 방법이 요청된다. 本論文에서는 都市人口의 密度分析에 입각한 인구추계방법을 제시하면서 제시된 모델을 통하여 서울을 事例로 人口數와 그 成長을 分析하고 推計하는 방법을 검토하고자 한다.

2. 都市人口成長의 體系的 空間 變化

動物이나 人間 등 生體를 구성하고 있는 有機物의 모양과 크기가 변하는 것은 有機物의 下部構造를 이루고 있는 生體의 部分들의 差別成長(differential growth)에 기인한 결과라 할 수 있

다. 비단 生體뿐만 아니라 產業經濟의 全般的 構造 成長도 下部經濟構造를 형성하고 있는 各部門別 Sektor)의 차별성장을 통해서 全體經濟構造가 變하고 成長한다고 말할 수 있다. 上述한 바와 같이 全體를 구성하고 있는 形體內部的 部門別 파트가 體系的 差別成長(systematic differential growth) 과정을 통해서 全體構造에 變化(成長)를 초래하는 '메카니즘'을 가리켜 '알로메트릭 프로세스(allometric process)'라 한다.²⁾

地理學에서 主要研究의 關心事中的 하나가 바로 空間構造의 形成과 그 공간구조내에서 展開되는 어떤 현상에 대한 공간구조와의 연관성을 分析 파악함으로써 공간의 구조 내지 질서적 형성 패턴을 究明하고자 하는데 있다.

本章에서는 都市의 成長과 都市內部 人口密度의 構造의 變化에 대한 '알로메트릭' 展開 과정을 검토하고자 한다. 즉, 都市內部 人口密度의 공간적 差別成長에 관한 전개과정을 분석함으로써 都市空間內에 나타나는 인구밀도 분포의 패턴, 밀도분포의 空間的 變化 현상, 都市內部的 지역별 밀도와 밀도성장율과의 관계 등 都市人口의 時空的 變化(成長)현상에 관한 體系的 현상을 밝히고 그 法則성을 검토하고자 한다.

(1) 都市內部 人口密度의 分布現象

都市空間의 全體人口密度의 분포를 보면 市域에 따라 고르게 나타나지 않고 市域內에서 상당한 地域差가 發生함을 관찰할 수 있다. 그러나 그 地域差의 分布現象은 상당한 규칙성을 나타내는데, 일반적으로 都市의 中心部에서 人口密度가 가장 높으며 中心地域을 벗어나 도시외곽지대로 나감에 따라서 인구밀도가 급격히 저하하는 현상을 발견할 수 있다. 즉, 도시 내부의 密度分布의 地域差는 都心距離와의 상대적 위치에 따라 체계적으로 변함을 파악할 수 있다. 이와 같은 현상은 많은 都市에서 일반적으로 관찰되는 사실로서 우리는 都市人口密度의 分布 패턴을 두 變數인, 人口密度와 都心距離와의 상관관계로 밀도분포의 지역차를 都市空間內에서 설명할 수 있게 된다.

2) Beckmann, M.J., 1958, City hierarchies and the distribution of city size, *Economic Development and Cultural Change*, Vol. 9, pp. 243~248.

두 變數의 관계를 式으로 表記하면,³⁾

$$D_x = D_0 \cdot e^{-bx} \dots (1)$$

(1)式을 自然對數에 依하여 變형시키면

$$\ln D_x = \ln D_0 - bx \dots (1)'$$

D_x : 都心으로부터 거리 x 지점의 人口密度값

x : 都心으로부터의 距離

D_0 : 都心の 人口密度값.

e : 自然對數의 base

b : 人口密度分布의 傾斜度

(1)'式에서 보는 바와 같이 두 變數間의 관계를 一次式의 負의 함수관계로 나타낼 수 있다.

1970년 현재 首都 서울의 全市域을 415개의 單位地區(unit area)로 구분한 다음 各地區의 平均 人口密度(1km² 當)를 구하고, 都心(市廳)으로부터 各地區間의 距離를 측정하여 두 變數, 즉 平均 人口밀도와 都心距離間의 相關度를 알아 보았다.⁴⁾ 그 결과 두 변수 간의 상관계수는 $r = -0.788$ 로서 상관계수가 상당히 높은 것이 밝혀졌다. 그리고 決定係數 $R^2 = 0.62$ 이다. 決定係數의 값이 의미하듯이 都心으로부터 서울市域 人口密度分布의 地域差를 좌우하는 가장 영향력이 큰 변수는 多變數中에서 역시 都心으로부터의 상대적 위치(거리)임을 지적할 수 있는 것이다.

인구밀도분포의 傾斜度 'b' 값을 最少自乘法(least square analysis)에 의하여 구하였는 바 回歸線에(regression line)의 결과는 그림 1. 과 같다.

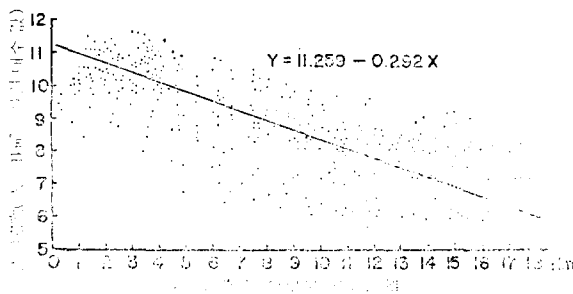


그림 1. 서울의 人口密度 分布(1970). 密度와 都心距離間의 散布圖 및 回歸線

回歸線의 式은

$$y = 11.259 - 0.292x \text{ 이다. 여기서 } y \text{ 는 各單位}$$

地區의 平均人口密度값을 자연대수로 환산한 값이며, x 는 各單位地區와 都心間의 거리(km)를 나타낸다. 回歸式의 常數(parameters) 'a' 즉 都心の 人口밀도($D_0 = 11.259$)와 人口밀도분포의 傾斜度($b = -0.292$)를 각각 導出해냄으로써 우리는 서울의 各地區間에 예상되는 人口密度를 測定할 수가 있다.

(2) 人口密度 傾斜度의 變化

時間이 경과함에 따라서 都市人口는 일반적으로 증가하며 市域이 擴張된다. 그리고 都市가 成長할 때 人口密度分布의 유형이 또한 變한다. 都市成長에 따른 人口밀도 분포의 경사도(b)와 時間間의 관계를 살펴 보면 'b' 값은 일반적으로 떨어지는 경향이 있는데, 두 변수의 관계를 式으로 나타내면 다음과 같다.

$$b_t = b_0 \cdot e^{-ct} \dots (2)$$

(2)式을 自然對數에 의해 變형하면,

$$\ln b_t = \ln b_0 - ct \dots (2)'$$

b_t : 어떤 時間 t 의 人口密度分布의 傾斜度

b_0 : 基準年度 t_0 의 人口密度分布의 傾斜度

e : 자연대수의 base

c : exponent

t : 經過時間

두 變數, 즉 密度의 경사도(b)와 時間(t)과의 관계를 (2)'式에 의해 負의 一次 함수관계로 나타낼 수 있다. 時間이 경과함에 따라 'b' 값이 낮아진다는 사실을 달리 표현하면, 이것은 都市가 成長함에 따라서 都市全域의 常住人口의 증가 패턴이 도심에서 가까운 市域보다는 먼 市域에서 상대적으로 높아지는 추세를 반영하는 것이다.

서울의 경우 경사도 'b' 값의 변화를 보면 1960, 1970년에 각각 -0.415 와 -0.292 로서 밀도분포의 경사도가 변하였다. 兩年 서울의 人口分布의 패턴을 비교할 때 1960년은 서울의 人口가 都心地域을 중심으로 상당히 조밀하게 分布되었는데 반하여, 도시외곽에서는 常住人口의 증가에 의한 市域發展이 미흡하였음을 의미한다. 반면 1960년 以後 10년 동안 서울의 人口는 외곽으로 갈수록 밀도의

3) Clark, C., 1951, "Urban population densities," *Journal of the Royal Statistical Society*, Vol. 114, pp.490~96.

4) 單位地區에 관한 구획방법과 平均人口밀도를 계산한 방법은 필자의 下記論文에 자세히 수록돼 있음. "都市人口密度 分布의 패턴과 成長에 관한 研究," 環境論叢, 第一卷(1974), pp. 65~79.

성장이 상대적으로 높아져 1970년에는 서울시 변두리를 포괄한 市全域에서 常住人口의 분포가 상당히 조밀해졌음을 의미하는 것이다.

(3) 都市內部 人口密度的 Allometric 成長體系

1) 密度的 成長率과 都心距離間的 關係

前節에서 검토한 (1)'과 (2)'式, 즉 都市人口密度的 分布 패턴이 都心으로부터의 거리에 의하여 指數的으로 경감하는 一般性과 밀도 分布의 傾斜度 자체가 都市가 성장함에 따라 완만해지는 사실을 都市 一般에 나타나는 公理的 현상으로 간주한다면 두 개의 公理的 현상을 前題로 우리는 都市內部 인구밀도의 알로메트릭 성장체계의 법칙성을 延역적으로 도출할 수 있게 된다. 즉, 都市人口의 成長은 도시 내부 地域의 밀도의 성장률과 도심거리간의 正의 指數함수(positive exponential function) 관계를 가지며 나타난다⁵⁾. 이 관계를 數式으로 說明하면,

$$(1+r_x) = (1+r_0) \cdot e^{gx} \dots (3)$$

(3)式을 자연대수로 변형하면

$$\ln(1+r_x) = \ln(1+r_0) + gx \dots (3)'$$

- r_x : 도심으로부터 거리 x 地點의 밀도성장률
- r_0 : 都心の 밀도 성장률
- x : 都心에서부터의 거리
- g : 밀도성장률 분포의 경사도

上記 式에서 볼 때 都市空間의 全體人口 밀도의 成長體系는 都心에서부터 一定 距離에 위치한 장소(unit area)들의 人口密度가 차별적으로 성장한 데서 연유한 결과라 할 수 있다. 다시 말해서 都市人口成長의 알로메트릭 전개는 都心으로부터 거리가 증대함에 따라서 都市內部的 밀도성장률이 상대적으로 도시외곽으로 나감에 따라 커지는 현상, 즉 밀도의 성장률과 도심거리의 두 변수간의 正의 相關關係를 밝혀 주는 것이다.

2) 密度的 成長率과 密度와의 關係

上記한 (1)'式과 (3)'式에서 검토한 바와 같이 都市內部的 人口密度的 分布와 증가율의 성장 패턴

의 현상이 모두 都心距離와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. (1)'式은 밀도의 분포와 도심거리와의 負의 指數적 함수관계, 그리고 (3)'式은 密度的 成長率과 都心距離와의 正의 指數적 함수관계를 나타내기 때문에, 우리는 두 式을 토대로 密度的 성장률을 밀도 자체의 함수관계로 표현할 수 있다. 이 함수관계를 式으로 나타내면,

$$(1+r_D) = a \cdot D^{-k} \dots (4)$$

(4)式을 자연대수로 변형하면

$$\ln(1+r_D) = \ln a - k \cdot \ln D \dots (4)'$$

r_D : 기준연도(t_0)의 밀도값이 D 인 장소에서 일정시간(t)이 경과한 후 그 장소의 밀도증가율

D : 기준연도(t_0)에 都心에서부터 一定거리 상에 있는 지점의 인구밀도값.

a : Constant

k : 밀도분포의 경사도(b)에 대한 밀도성장률 경사도(g)의 비율

(4)'式에서 都市空間內的 밀도 자체와 밀도 증가률간의 관계를 延역적으로 기술하였는 바 두 變數의 관계에 대하여 다음과 같은 時空的 해석을 내릴 수 있다. 도시공간내에서 餘他的 조건이 동일하다고 가정할 때 都市의 어느 한 지역이 이미 높은 人口密度의 수준에 도달한 장소일것 같으면 時間이 경과함에 따라서 그 장소의 인구밀도 增加率은 상대적으로 낮아지고, 밀도가 낮은 지역에서는 오히려 시간이 경과함에 따라서 密度的 증가율이 높아진다. 결국 市域全體로 볼 때 都市人口가 조밀한 都心과 도심 주변 지역에서는 밀도증가율이 둔화되며, 밀도가 낮은 市外廓地域에서는 人口密度的 증가율이 신장되는 현상을 探知할 수 있다. (4)'式은 바로 두 變數, 밀도의 증가율과 밀도 자체간의 相互 逆關係를 說明함으로써 密度成長率의 지역차에 의한 都市人口成長의 체계적 현상을 잘 나타내고 있다.

지금까지 알로메트릭 개념을 적용하여 都市人口成長의 空間的 體系現象을 延역적으로 (3)'式과 (4)'式을 통해서 기술하였다. 表 1은 서울의 人口成長에 대한 알로메트릭 전개과정, 즉 人口密度的 체계적 差別成長 과정에 대한 경험적 사실을 서

5) Newling, B., 1966, "Urban growth and spatial structure: mathematical models and empirical evidence," *Geographical Review*, Vol. 56, pp. 213~225.

表 1. 서울 人口密度의 同心地域別 分布와 變化 (1960~1970)

都心으로 부터의 距離 區間	人口密度 人/km ²		밀도의增加率(%)
	1960년	1970년	
0~2 km	32,021	28,141	-12.1%
2~4	22,122	28,851	30.4%
4~6	9,385	17,312	84.5%
6~8	5,140	13,474	162.1%

*區間 距離는 서울 市廳으로부터의 半徑

을 市域에서 포괄적으로 실증해 주고 있다. 서울 市廳을 基點으로 半徑 區間帶로 市域을 동심원적으로 區分하여 各同心區間帶의 人口 密度增加率과 都心距離와의 상관관계를 보면 실로 (3)'式에서 검토한 바와 같이 都心에서부터 외곽지대로 距離가 확대될수록 人口密度의 증가율이 상승하는 현상을 검증할 수 있다. 또한 (4)'式에서 言及한 밀도 자체와 밀도증가율간의 관계가 表 1에서 확인된다. 1960년을 기준으로 밀도가 높은 都心地域의 同心 區間帶에서보다 密度가 낮은 市外廓 同心區間帶에서 밀도의 증가율이 높은 현상, 즉 密度 자체와 密度增加率간의 負의 상관관계를 例示할 수가 있다.

3. 密度分析에 依한 都市人口推計方法

本章에서는 都市人口密度 分析에 의한 都市人口 數를 推計하는 방법을 고찰하고자 한다. 먼저 추계방법에 대한 모델을 설명한 다음 그 방법을 運用하여 Newling이 試圖한 美國 都市의 人口推計 결과를 소개한다.⁶⁾ 다음 서울의 1960, 1970년의 인구를 密度分析에 의해 추계하고 그 결과를 兩年의 人口統計와 비교 검토하여 밀도분석에 의한 인구 추계 방법의 適確性 내지 應用性의 근거를 밝히고자 한다.

(1) 밀도 分析에 의한 都市人口 測定모델

都市의 人口密度分布가 都心으로부터의 距離에 따라 漸減하고 그 市域이 圓形을 이루는 都市일 것 같으면, 都心에서부터 一定距離內의 市域에 居住하는 人口數는 그 도시의 人口밀도의 경사도(b)를

종축에 따라 360°로 회전시켰을 때 都心에서부터 半徑(d) 距離까지를 포함한 市域의 밀도 분포를 積分하여 구한 값과 같다고 할 수 있다. 위에 記述한 바를 式으로 展開하면,

$$P_d = \int_0^d D_0 \cdot e^{-bx} (2\pi x) dx \dots (5)$$

(5)式을 풀면,

$$P_d = 2\pi D_0 b^{-2} [1 - e^{-bd} (1 + bd)] \dots (6)$$

여기서 P_d : 도심에서부터 半徑(d) 距離 市域內에 居住하는 人口數

D_0 : 도심의 인구밀도

b : 인구밀도 분포의 경사도

e : 자연대수의 base

그리고 위의 式에서 '2π'는 한 中心에서 완전 회전(360°)을 시도할 경우 弧度角에 대한 측정인 바 都市의 모양이 完全圓形이 아닐 경우에 '2π'보다 작은 값을 취하게 된다. 예를 들어 미국의 Chicago는 도시 모양이 거의 半圓形으로 발달하였으므로 반원을 그리는 Chicago의 市域은(즉 弧度角의 측정값은) 2π의 절반인 約 50%, 즉 'π'값에 해당한다고 간주할 수 있다.

(6)式이 제시하는 바와 같이 어느 都市의 내부 인구밀도의 傾斜度(b), 도심의 人口密度(D_0) 및 도시 모양이 결정되면 都心을 中心으로 半徑(d) 距離 市域內에 거주하는 人口數를 (6)式에 의하여 측정할 수 있게 된다. 따라서, 市域全體를 同心圓帶로 區分하여 地域別 인구수를 추산하고자 할 때 (6)式은 유용한 방법으로 이용될 수 있다. 人口密度의 分布를 나타내는 (1)式과 (1)'式을 (6)式에 代入하면 다음과 같은 式을 유도할 수 있다.

$$P_r = 2\pi D_0 b^{-2} [1 - (Dd/D_0)(1 + l_n D_0 - l_n Dd)] \dots (7)$$

(7)式에서 P_r 은 도시지역 전체의 人口數를 측정 한 값을 나타낸다. 도시지역은 人口의 成長과 더불어 都心 半徑이 확대되면서 確張하지만, 都市周邊密度(perimeter density)가 市域의 팽창과는 관계 없이 일정하다고 가정한다면 (7)式을 이용하여 도시지역 전체의 人口數의 측정을 유도할 수 있게 된다. 極端의 例로 都市周邊密度를 '0'이라고 하면 (7)式의 [] 안은 '1'이 되어 결국 P_r 값은 간단히 $P_r = 2\pi D_0 b^{-2}$ 의 式에서 求할 수 있게 된다. 그러나 실제로 모든 都市의 周邊密度는 결코 '0'이 될 수 없으며 非都市의 지역과 연결되는 漸移 地帶

6) Newling, ibid, pp. 213~225.

가 되기 때문에 都市周邊人口密度는 市域이 계속 팽창하더라도 어떤 一定水準(밀도의 변동이 별로 크지 않은)에 머무르기 마련이다. Stewart 는 미국의 都市들을 대상으로 都市周邊密度(perimeter density)를 측정 한 결과 대체로 1 mile² 당 2000 人으로 밝힌 바 있다.⁷⁾ 서울의 경우 1960, 66, 70년의 市外廓 20개 洞을 추출하여 연도별 서울 주변 밀도의 변화추이를 보면 1960년에 949/km² 人, 1966년에 794/km² 人, 그리고 1970년에 2567/km² 人으로 나타났다. 以上에서 도시 주변의 평균 인구 밀도가 어느 一定水準에 머문다고 가정할 것 같으면 (7)식은 都市地域 전체의 人口數를 추계하는 有用한 모델로 사용될 수 있다.

(2) 密度分析에 의한 都市人口 推計의 事例

1) 美國 都市의 경우

Newling 은 미국의 46 개 都市를 對象으로 各都

市의 人口數를 산출하기 위하여 위에서 言及한 (7) 式을 응용하였다. 그리고 (7)式에 필요한 常數, 都市의 人口밀도(D_0)와 경사도 (b)에 대한 各都市의 값을 편의상 Muth⁸⁾가 개발한 數値를 빌려다 썼으며, 都市周邊人口密度는 Stewart 가 제시한 1 mile²당 2000 人을 그대로 사용하여 46개 도시의 人口數를 算定하였다. Newling 이 추계한 46개 都市 중 一部을 선정하여 소개하면 表 2와 같다. 表 2는 컬럼벌르 美國의 都市, 도심의 人口密度(D_0), 傾斜度(b), 推計人口數, 實際人口數를 나타낸 것이다.

Newling 은 各都市의 人口推計를 통해서 다음과 같은 결론을 내렸다. (7)式에 의거 都市人口를 산출할 때 도시의 대상지역은 市街化된 都市地域(urbanized area)보다 표준 도시 지역(Standard Metropolitan Area)을 선택할 경우, 그리고 도시의 Perimeter Density 는 0의 값을 취하기보다는

表 2. Density Parameters, Population Estimates and SMA and Urbanized Area Populations for selected United States Urban Regions, 1950 (Population in Millions)

Urban Region	Density @ Parametres		Population Estimates		Actual Population	
	Central [ⓑ]	Gradient [ⓒ]	I [ⓓ]	II [ⓔ]	SMA	UA
Akron, Ohio	38	0.84	0.34	0.27	0.41	0.37
Boston, Mass.	78	0.30	2.7	2.4	2.9	2.2
Dallas, Tex.	26	0.48	0.71	0.51	0.61	0.54
Flint, Mich.	26	0.73	0.31	0.22	0.27	0.20
Los Angeles, Calif.	14	0.078	7.2	4.2	4.4	4.0
Nashville, Tenn.	9.3	0.071	12.0	5.3	0.32	0.26
Philadelphia, Pa.	86	0.40	3.4	3.0	3.7	2.9
Rochester, N.Y.	43	0.64	0.66	0.53	0.49	0.41
Seattle, Wash [ⓕ]	25	0.31	0.82	0.59	0.73	0.62
Washington, D.C.	20	0.27	1.7	1.2	1.3	1.3

ⓐ Muth가 계산한 인구밀도 常數(註8 참조)

ⓑ Thousands per square mile

ⓒ Density Gradient, expressed as natural logarithm

ⓓ Estimated from Muth's density parameters, and assuming a perimeter density of zero

ⓔ Estimated from Muth's density parameters, and assuming a perimeter density of 2,000 persons per square mile.

ⓕ The urban region assumed to occupy 50 percent of a full circle

出處: Bruce Newling, Urban Growth and Spatial Structure: Mathematical Models and Empirical Evidence *Geographical Review*, Vol. 56, (1966), p.217.

7) Stewart, J. Q., 1953, "Urban population densities," *Geographical Review* Vol. 43, pp. 575~576.

8) Muth, R. F., 1961, "The spatial structure of the housing market," *Papers and Proceeding Regional Science Association*, Vol. 7, pp. 207~220.

2000人으로 간주하여 계산할 경우, 실제의 人口數에 계산치가 접근한다고 결론을 짓고 있다.

都市人口 成長의 알로메트릭 전개과정에서 人口數를 推計하는 데 필요한 基本要件은 바로 밀도 분포의 傾斜度(b)를 추적하는 것이다. 그런데 어느 都市의 'b' 값은 (1)'式에서 구할 수 있으며, (2)'式을 통해서 各都市의 'b' 값의 연도별 변화를 예측할 수 있는 것이다. 결국 'b' 값을 연도별로 구하여, 그 값을 (6)式이나 (7)式에 대입하면 우리가 구하고자 하는 年度別 人口數를 산출할 수 있게 되는 것이다. 즉, 都市人口의 예측이 가능해진다.

Newling은 Chicago 都市地域에 대한 1900~1950년간의 年度別(10년간격) 人口의 예측을 시도하였다. 이때, Newling은 Winsborough가 1860년에서 1950년까지 연도별로 추정한 Chicago 都市地域의 密度常數를 직접 이용하여, (7)式에 의거 Chicago 人口를 연도별로 예측하였다. 그 결과는 表3과 같다.

表 3. Estimated Population of the Chicago Urban Region and Actual Population of the SMA and the Urbanized Area, 1900~1950
(in Millions)

Year	Population estimates		Actual population	
	I ㉔	II ㉕	SMA	Urbanized Area
1900	1.95	1.76	2.09	1.89
1910	2.47	2.23	2.75	2.53
1920	3.89	3.40	3.52	3.29
1930	5.31	4.64	4.68	4.43
1940	5.42	4.72	4.83	4.52
1950	6.43	5.53	5.50	5.05

㉔ Estimated from Winsborough's density parameters, assuming a perimeter density of zero, and assuming that the Chicago Urban Region occupies 53.5 percent of a full circle.

㉕ Estimated from Winsborough's density parameters, assuming a perimeter density of 2000 persons per square mile, and assuming that the Chicago Urban Region occupies 53.5 percent of a full circle

出處: Bruce Newling, Ibid, p.219.

2) 首都 서울의 경우

前章에서 서울의 人口密度成長이 도시 내부 地域間 差別成長에 기인하는 사실을 規明하였다. 이것은 알로메트릭 프로세스를 立證한 결과로서 밀도분석에 의한 都市人口 추계 가능성이 수도 서울에서도 적용될 수 있다는 심증을 굳힌 것이다. 따라서 서울의 人口密度 成長 패턴에 대한 分析을 재정리 要約해 보면 다음과 같다. 첫째, 1960년과 1970년 兩年の 서울의 人口密度 分布의 패턴은 都心에서부터 外郭으로 거리가 증대함에 따라서 낮아진다. (1)'式에서 밀도의 常數를 구하면 1960년 경우 $y=11.226-0.415x$, 1970년의 경우 $y=11.259-0.292x$ 로서 두 式에 의거하여 都心距離別(x) 密度分布(y)를 측정할 수 있다. 둘째, 1960년과 1970년간에 密度의 傾斜度(b)는 -0.415 에서 -0.292 로 그 절대값이 낮아졌다. 이것은 시간이 경과함에 따라 都市人口의 成長이 都心地域보다는 都市 外郭地帶에서 상대적으로 더 伸張된다는 一般의 사실을 首都 서울의 도시지역에서도 確證한 것이다. 셋째, 서울의 周邊密度를 年度別로 구한 결과 1 km^2 當 1960년에 949人, 1966년에 794人, 그리고 1970년에는 2567人으로 나타났다. 都市의 주변밀도는 都市間에 그리고 年度의 變遷에 따라서 別로 큰 차이가 없는 것으로 간주하였기 때문에 3개년도의 平均周邊密度 값(1437人)을 구하여 그 값을 서울의 周邊密度 값으로 代置하였다.

이렇게 (7)式 ($P_r=2\pi D_o \cdot b^{-2}[1-(D_d/D_o)(1+lnD_o - lnD_d)]$)에 필요한 1960년과 1970년의 年度別 密度常數를 취합하여 兩年 首都 서울의 전체 人口를 계산하였다. 表4는 年度別 密度常數들과 人口推計의 결과를 圖表化 한 것이다.

결과적으로 兩年 首都 서울의 密度分析에 의한 推計人口는 실제 統計 人口에 상당히 접근되었다. 특히 1960년의 경우 그 差異는 불과 30,000人정도에 불과하다. 그러나 1970년의 경우는 그 差異가 1960년 경우의 10倍 정도에 달하였다. 計算値와 실제 人口의 통계값이 달다진 큰 이유 중에서, 첫째, 수도 서울은 完全圓形이 아니라는 점, 둘째,

9) $P_r(1960)=2 \times 3.14159 \times 75075 \times 5.806358[1-0.019145(1+11.226-7.270)]=2,477,170$

$P_r(1970)=2 \times 3.14159 \times 77575 \times 11.728279[1-0.018524(1+11.259-7.270)]=5,188,118$

表 4. 서울의 人口密度 常數(D_0 , b) 및 推計인구와 實際人口, 1960~1970

연도	구분 都心人口 密度(D_0)	密度의 傾斜度(b)	周邊人口密度	推計人口	實際人口
1960	75,057 (1.1226)	-0.415	1437 (7.270)	2,477,190	2,445,402
1970	77,575 (11.259)	-0.292		5,188,118	5,536,377

* ()의 수자는 自然對數값 * 인구밀도는人/1km²

경사도 (b)는 완전히 都心距離에만 의존하여 설명되지 않는다는點, 세계 周邊密度的 變異性에 근거하여 計算値와 統計値 間に 어느 정도 오차가 발생하는 것은 미리 감안해야 될 점이다. 특히 1970년의 경우 오차가 과대해진 이유는 주로 密度的 傾斜度에 기인한 것 같다. 都市發達の 初期나 中期 과정에서는 交通망·업무기능·상가·주택 등 모든 도시활동이 都心을 중심으로 集中性(centralization)이 높아지기 때문에 人口分布의 경사도가 도심거리와의 관계에서 잘 설명되나 도시발달이 완숙기에 들어가면 集中性的 逆現象(decentralization)이加重되어 密度分布의 地域差는 도심거리와의 관계 이외의 要因들로 인하여 경사도의 負의 指數的 함수 관계는 적절히 설명하기가 어렵게 된다. 결국 70년 대 서울의 metropolitanization은 傾斜度에 의하여 간과된 다른 요인들과 人口分布의 관련성을 고려할 때, 오직 都心距離라는 變數 하나만으로 밀도 분포의 전반적 패턴을 설명할 수 없기 때문에 (7) 式의 계산과정에서 추계된 計算値와 統計値 間に 差異가 커진 것으로 해석된다.

4. 結 論

本論文은 都市의 人口成長에 관한 時空的 變化樣狀에 대한 體系的 現象을 규명하기 爲한 方面으로써 알로메트릭 프로세스의 개념을 적용하여 도시내부 인구밀도의 成長에 관한 分析을 시도하였다. 本研究은 密度分析 과정에서 靚연적으로 수반되는 記述의 範圍를 넘어서 밀도분석에 의한 都市人口의 推計方法의 개발여부가 가능한가를 검토하였다.

首都 서울의 1960년과 1970년 兩年の 人口成長 形態를 분석한 결과 알로메트릭 프로세스의 展開 과정이 開珍될 수 있었다. 그 결과를 要約하면,

첫째, 首都 서울의 人口密度 分布의 패턴은 兩年 모두 都市密度的 分布가 도심거리와 負의 相關關係를 나타내는 指數函數로 表示된다. 둘째, 首都 서울의 밀도 분포의 傾斜度는 도시의 人口가 성장하고 市域이 擴大됨에 따라서 완만해진다. 세계 首都 서울의 市域別 밀도 증가율은 都心으로부터 거리가 증대하는 장소일수록 密度的 증가율이 높아진다. 즉 밀도의 증가율과 都心距離간의 관계는 正의 함수관계로 설명될 수 있다. 넷째, 首都 서울의 高密度地域의 밀도 增加率은 低密度地域보다 밀도증가의 伸張율이 상대적으로 낮다. 즉 서울의 全地域에서 밀도의 성장율과 밀도 자체간의 관계는 都市 成長의 과정상 逆相關關係로 나타난다. 이것은 이미 歐美 都市를 대상으로 밝혀진 현상이며, 都市人口의 추계에 대한 방법론적 근거가 제시된 바 있는데, 本論文은 결국 人口密度的 지역별 차별성장에 기인한 都市人口 成長의 체계적 一般性을 首都 서울의 연구 事例를 통해서 再確認한 것이다.

密度分析에 의한 都市人口 測定 接近法은 人口를 推計함에 있어서 종래의 時系列的 分析의 범위를 넓혀서 地理的으로 擴散하는 인구분포와 成長의 空間的 擴大過程을 時空의 次元에서 把握할 수 있는 長點이 있다. 그리고 都市가 成長할 때는 반드시 市域의 변천, 즉 도시지역의 物理的 擴大에 따른 편입 인구를 時系列 分析過程上에서 別途로 추정하여 그 추가분을 계산에 넣어야 하는 不便이 따른다. 그러나 密度分析過程에서는 市域의 변천에 따른 人口의 增加가 密度傾斜에 의하여 포괄적으로 추정되므로 人口推計上의 別途 조정작업과 같은 불편을 미리 배제할 수 있다.

密度分析에 의한 都市人口 추계의 접근법은 理論的 根據에 있어서나 實際 응용상의 便宜性에 있어서 都市人口를 추계하기 위한 代案的 모델로 고

려해 불충분한 가치가 인정된다. 그러나 무릇 모델의 기능을 실제의 문제에 적용하고자 할 때는實際의 세계에서 제시되는 事象의 조건들과 모델이 전제로 하는 가정과 어느정도 합당한가를 미리 검토할 필요가 있다. 本研究에서 제시된 모델도 그

例外일 수는 없으며 分析對象 都市들의 選擇 여부에 따라서 인구밀도 분석에 의한 都市人口 推計의 접근법은 하나의 효율적인 방법으로 제시될 수 있는 것이다.

(서울大學校 社會科學大學)

A Study on the Method of Urban Population Estimates Based on the Analysis of Intraurban Allometric Growth of Population Density

In Kim

Summary:

This study is concerned with the analysis of intraurban population growth based on the concept of "allometric growth", which recognizes the systematic differential growth of population density within cities. A process of "allometric growth" is similar to that operative in the growth of biological organisms. In formal terms, the law of allometric growth states that the rate of relative growth of an organ is a constant fraction of the rate of relative growth of the total organism. In the present context this would imply that the relative growth of population densities of various segments within a whole urban space is a constant fraction of the rate of growth of the gross population density of a city.

The objective of this paper is two fold: one is to examine the formal statements of the allometric growth of intraurban population densities through recognizing empirical aspects and deduced rules on the phenomena of spatial variations of the density growth. The second objective is to examine whether the analytical approach of allometric process of the urban density growth can be developed as a method in estimating total population size as city grows.

Seoul city is selected as a study and the

phenomena of allometric growth fashion are examined for the years, 1960 and 1970.

It is recognized in the study that there exists certain allometric growth pattern as the city of Seoul grows in population and areal extent during the two time sets. First, the spatial distribution of population density decreasingly varies with the increasing distance from the center (City Hall) of Seoul. This phenomenon, namely the relationship between two variables of the population density and the distance from city center is expressed in regression as $Y=11.226-0.415X$ (1960) and $Y=11.259-0.292$ (1970) respectively. Secondly, this study verifies that density gradient falls in value through time as the city grows. The values of the density gradients of Seoul for the selected years have been changed from $b=-0.419$ to $b=-0.219$, which means that population of Seoul has grown relatively faster in the distanced areas from the city center rather than in the areas nearer the center. Third, the variables, the rate of the growth of density and the distance from city center represent a positive relationship in the growth of city as recognized in Table 4. On the other hand, the relationship between the density itself (1960) and the rate of population density change is inverse.

This paper also introduces a mathematical model for estimating population of urban region to examine the possibility of its application to estimate population size in Seoul. The model is derived from two assumptions; first, population density declines exponentially with distance from the center of city and second, the city is circular in shape. If a city fits in these assumptions, the total population within a given distance "d" from the center of city can be conceived as the solid of revolution generated by the density curve about the vertical axis. Hence, the mathematical expression is $P_d = \int_0^d D_o \cdot e^{-bx} (2\pi x) dx$. This model is derived in essence from the analysis of allometric growth of intraurban population density. The

above equation is evaluated as $P_d = 2\pi D_o b^{-2} [1 - e^{-bd} (1 + bd)]$, which is useful for estimating the population size of the city as radius from city center is determined. Another equation can be obtained if we substitute two equations, $D_d = D_o \cdot e^{-bd}$ and $l_n D_d = l_n D_o - bd$ (see both equations in Chapter 2) into the above equation : $P_r = 2\pi D_o \cdot b^{-2} [1 - (D_d/D_o) (1 + l_n D_o - l_n D_d)]$. This equation is useful for estimating the total population size of a city whose perimeter density may be assumed to be fixed. The density parameters for Seoul are calculated for the above equation, the parameters density gradient (b), Central Density (D_o), and Perimeter Density (Dd). Hence is estimated the population size as shown in Table 4.